

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автоматизированного электропривода,
электромеханики и электротехники

Н. Г., Семенова, А.Т. Раимова

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2018

ББК 31.29-5я73
УДК 621.311(075.8)
С 30

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Л. В. Быковская

Семенова Н. Г.
С 30 Компенсация реактивной мощности в электрических сетях:
методические указания / Н. Г. Семенова, А. Т. Раимова;
Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 16 с.

Методические указания являются основным учебным руководством при выполнении лабораторных работ по курсу «Электроснабжение с основами электротехники» обучающимися по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, очной и заочной форм обучения.

ББК 31.29-5я73
УДК 621.311(075.8)

© Семенова Н. Г.,
Раимова А.Т., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

1 Теоретическое введение	4
2 Лабораторная работа. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях	11
2.1 Описание лабораторной установки.....	11
2.2 Подготовка к работе.....	11
2.3 Выполнение лабораторной работы	12
2.4 Содержание отчета.....	14
3 Контрольные вопросы для самопроверки	15
Список использованных источников	16

1 Теоретическое введение

По электрическим сетям от источников к ЭП передается не только активная энергия (мощность), которая преобразуется в другие виды, но и реактивная мощность, поскольку работа большинства ЭП сопровождается потреблением из сети именно реактивной мощности. Основными потребителями реактивной мощности являются: асинхронные двигатели, трансформаторы, воздушные электрические сети, вентильные преобразователи и др.

Эффективность использования электрической энергии при передаче ее ЭП неразрывно связана с уменьшением потерь электрической энергии, в том числе и потерь, вызванных передачей реактивной мощности.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) – это снижение реактивного тока в сети и реактивной мощности, циркулирующей между источником и приемником электрической энергии.

Поскольку реактивная мощность трансформаторов и электрических машин переменного тока носит индуктивный характер, то для ее компенсации используют устройства с емкостным характером реактивной мощности.

Способы компенсации реактивной мощности возможны:

- без применения специальных компенсирующих устройств:
 - улучшение энергетического режима оборудования;
 - замена асинхронных электродвигателей при загрузке их до 45 % двигателями меньшей мощности;
 - установка на агрегатах с электродвигателями и трансформаторами (в том числе и сварочными) ограничителей холостого хода;
 - перевод нагрузки на один трансформатор при загрузке ниже 30 %;
- с применением специальных компенсирующих устройств:
 - конденсаторы;
 - комплектные конденсаторные установки (ККУ),

которые представляют собой электрические емкости и вызывают в электрических сетях опережающий по отношению к напряжению ток.

- синхронные компенсаторы;
- статических компенсирующих устройств.

Батарея конденсаторов представляют собой электрические емкости, которые вызывают в электрических сетях опережающий по отношению к напряжению ток. Они устанавливаются как в распределительной сети (6-10) кВ, так и в цеховых сетях на напряжениях 660 и 380 В.

Комплектные конденсаторные установки – конденсаторные батареи, укомплектованные коммутационными аппаратами, средствами контроля, учета электроэнергии. Устанавливаются в распределительных сетях напряжением 6 и 10 кВ, а также цеховых сетей 0,4 кВ.

В качестве *синхронных компенсаторов* применяют синхронные двигатели облегченной конструкции без нагрузки на валу. Они работают либо в режиме генерации реактивной мощности (при перевозбуждении компенсатора), либо в режиме ее потребления (при недовозбуждении).

Статическое компенсирующее устройство представляют собой устройство, включающее в себя: фильтры высших гармоник (генерирующая часть), состоящие из конденсатора и индуктивности (L_{ϕ} , C_{ϕ}); регулируемого реактора L_0 (накопитель электромагнитной энергии); вентиля (тиристор).

При проектировании систем электроснабжения расчет компенсации реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств является одной из основных задач. Рассмотрим принцип работы батареи конденсаторов в качестве компенсирующего устройства.

Конденсаторы могут включаться в электрическую сеть последовательно или параллельно ЭП. В зависимости от этого в электрических сетях различают продольную и поперечную компенсации.

Продольная компенсация. В этом случае конденсаторы включаются в сеть последовательно с ЭП. Продольная компенсация реактивной мощности обусловлена тем, что общее реактивное сопротивление электрической сети определяется разностью индуктивного и емкостного сопротивлений:

$$X_{\Sigma} = (X_L - X_C). \quad (1)$$

В этом случае:

$$\Delta Q = Q_L - Q_C = I^2 \cdot (X_L - X_C), \quad (2)$$

где $Q_L = I^2 \cdot X_L$; $Q_C = I^2 \cdot X_C$.

На рисунке 1 показана схема замещения линии электропередачи (ЛЭП). Условный потребитель на схеме выделен контуром, обведенным штрихом.

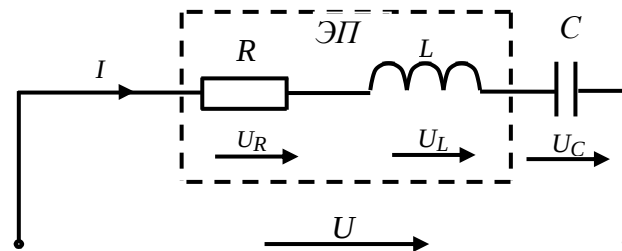
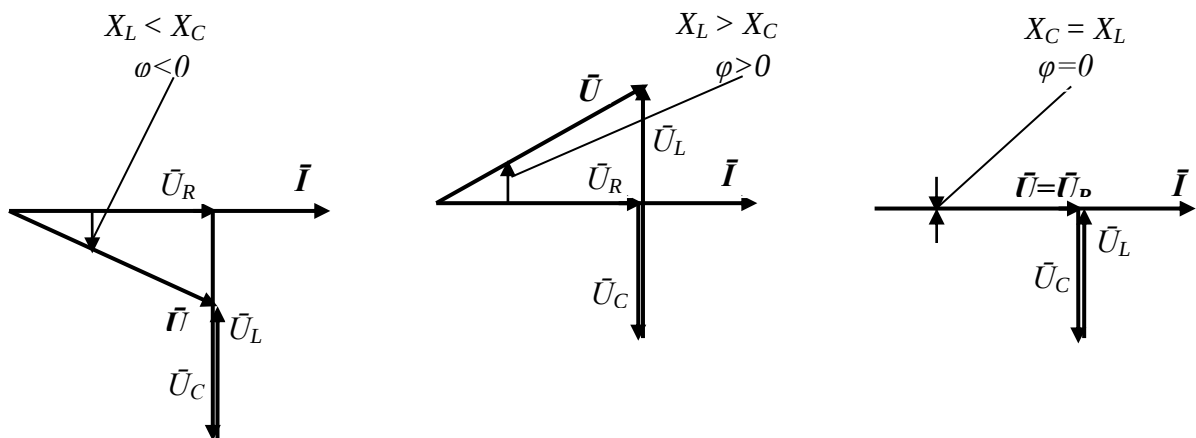


Рисунок 1 – Схема замещения ЛЭП при продольной компенсации

В зависимости от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлениями ЛЭП возможны три ее режима: индуктивный, емкостной и резонансный. Векторные диаграммы тока и напряжений для различных соотношений реактивных сопротивлений приведены на рисунке 2.



а) индуктивный режим; б) емкостной режим; в) резонансный режим

Рисунок 2 – Векторные диаграммы тока и напряжений

Из векторных диаграмм, рисунок 2 а, б, очевидно, что включение емкостного сопротивления X_C приводит к уменьшению напряжения U_x за счет уменьшения общего сопротивления X_Σ , ($X_\Sigma = (X_L - X_C)$), следовательно, снижается значение реактивной мощности, передаваемой от источника к ЭП.

Для полной компенсации реактивной мощности ($\Delta Q=0$) участок ЛЭП настраивают на резонансный режим ($X_L = X_C$). Векторная диаграмма этого режима приведена на рисунке 2 в.

При условии $X_C \gg X_L$ происходит не уменьшение реактивной мощности, а увеличение, имеет место отрицательный эффект включения конденсаторов.

Продольную компенсацию целесообразно применять на линиях высоких напряжений, т.к. она способствует повышению надежности функционирования энергосистемы: если в схеме питания возникает резкое повышение напряжения, то конденсаторы автоматически шунтируются высоковольтными выключателями, что приводит к мгновенному снижению тока ЛЭП из-за повышения общего сопротивления электрической сети, уравнение (1).

Поперечная компенсация. В этом случае компенсирующие устройства включаются параллельно нагрузке. В зависимости от места установки компенсирующего устройства (КУ) различают:

- индивидуальную компенсацию (непосредственно у ЭП);
- групповую компенсацию (в цехах у распределительных щитов);
- централизованную компенсацию (на подстанциях предприятия).

На рисунке 3 приведена схема замещения ЛЭП при индивидуальной поперечной компенсации. Условный ЭП выделен штриховым контуром.

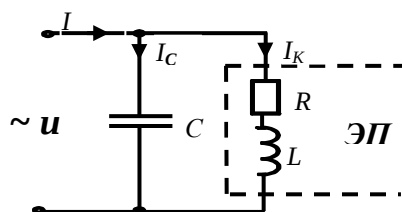
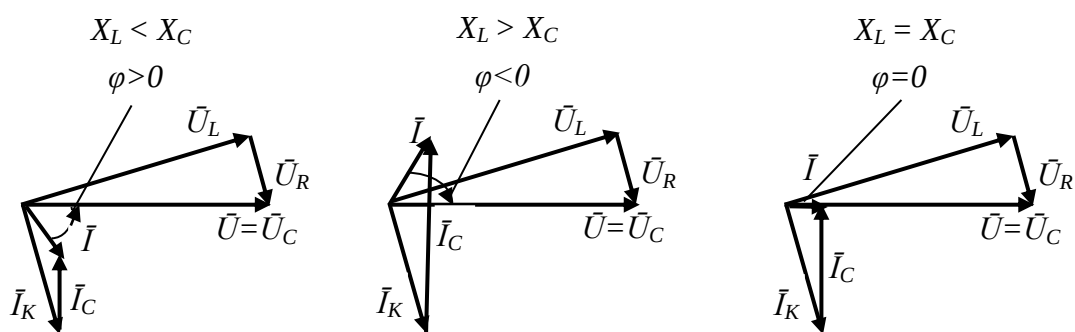


Рисунок 3 – Схема замещения ЛЭП при индивидуальной поперечной компенсации

При поперечной компенсации реактивной мощности наряду со снижением тока нагрузки следует отметить снижение потерь активной мощности, повышение уровня напряжения в сети и снижение его потерь в отдельных элементах системы электроснабжения.

Векторные диаграммы напряжения и токов для различных соотношений реактивных сопротивлений при поперечной компенсации реактивной мощности приведены на рисунке 4.



а) емкостный режим; б) индуктивный режим; в) резонансный режим

Рисунок 4 – Векторные диаграммы напряжения и токов

Индивидуальную компенсацию применяют в электрических сетях на напряжениях до 660 В. При этом от реактивной мощности разгружается вся электрическая сеть от источника до ЭП. Целесообразно подключить конденсаторные батареи как можно ближе к ЭП для уменьшения потерь активной мощности в питающей их сети.

Недостатком индивидуальной поперечной компенсации является использование реактивной мощности конденсатора только во время работы ЭП, к выводам которого он подключен.

Наиболее широко применяется групповая компенсация, при которой компенсирующие устройства присоединяются к шинам РУ, предназначенным для электроснабжения группы ЭП. В этом случае от реактивного тока разгружается участок сети от конденсаторной установки до ЭП. Конденсаторы

находятся в работе постоянно. Групповая компенсация, как правило, применяется в цехах с неагрессивной средой и не опасной по пожару и взрыву.

При централизованной компенсации реактивной мощности батареи конденсаторов присоединяют на шины 0,4 кВ цеховой подстанции или на шины 6-10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП). В этом случае от реактивной мощности разгружаются только трансформаторы ГПП и выше лежащая часть сети.

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является основным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии. Мероприятия по компенсации реактивной мощности на объектах строительного производства позволяют:

- снизить ток в ЛЭП, что приводит к уменьшению сечения проводов электрических сетей;
- уменьшить нагрузку на коммутационную аппаратуру и на трансформаторы, следовательно, снизить количество и мощность трансформаторов;
- улучшить качество электроэнергии, потребляемой ЭП;
- снизить расходы на электроэнергию.

Выбор способа компенсации реактивной мощности и мощности компенсирующих устройств при проектировании систем электроснабжения производится одновременно с выбором других элементов этой системы с учетом вопросов регулирования напряжения. Чтобы выбрать мощность компенсирующих устройств необходимо определить значения активных и реактивных нагрузок в узлах системы электроснабжения.

Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать расчетную реактивную мощность, тип и напряжение КУ.

Расчетная реактивная мощность КУ определяется из соотношения:

$$Q_{P.KY} = \alpha \cdot P_a \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (3)$$

где $Q_{P.KY}$ – расчетная мощность КУ, кВАр;

P_a – расчетная активная мощность, кВт;

α – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности $\cos\varphi$ естественным способом (принимается $\alpha = 0,9$);

φ – угол между векторами напряжения и тока питающей сети;

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$tg\varphi_k$ – коэффициенты реактивной мощности после компенсации.

Компенсацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения коэффициента мощности $\cos\varphi_k = 0,92 \dots 0,95$ ($tg\varphi_k = 0,33 \dots 0,43$).

Задавшись типом КУ, зная $Q_{p.KY}$ и напряжение сети выбираем стандартную компенсирующую установку соответствующей мощности $Q_{ф.КУ}$ и марки на каждую секцию шин. Фактическое значение коэффициента мощности после компенсации реактивной мощности определяется по формуле:

$$\cos\varphi_k = \cos\left(\arctg\left(tg\varphi - \frac{Q_{ф.КУ}}{\alpha \cdot P_a}\right)\right). \quad (4)$$

2 Лабораторная работа. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях

Цель работы: исследовать метод продольной компенсации реактивной мощности в электрических сетях с целью снижения потерь мощности на примере электрической цепи, содержащей индуктивности.

2.1 Описание лабораторной установки

В разделе представлена лабораторная работа по исследованию метода продольной компенсации реактивной мощности в электрических сетях.

Элементы ЭЦ и измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, размещены на лицевой панели универсального стенда.

В качестве источника электрической энергии используется генератор синусоидального напряжения ГЗ-123.

В качестве приемников электроэнергии используются набор катушек индуктивностей $L_1 - L_4$, магазин емкостей $C_1 - C_4$, резисторы $R_1 - R_3$.

Для измерения тока служит миллиамперметр переменного тока М 42300.

Для измерения напряжения используется цифровой мультиметр ВР-11А.

Измерение мощности осуществляется ваттметрами электродинамической системы Д539 и Д5004, которые могут быть применены как в цепях постоянного тока, так и в цепях переменного тока.

2.2 Подготовка к работе

2.2.1 Повторить разделы курса «Электроснабжение с основами электротехники».

2.2.2 Подготовить бланк отчета по лабораторной работе, содержащий схемы испытаний, таблицы для записи результатов измерений и расчетов, расчетные формулы и данные приборов.

2.2.3 Ответить на контрольные вопросы.

2.3 Выполнение лабораторной работы

2.3.1 ЭЦ без компенсации реактивной мощности

Опыт 1. Работа ЭЦ без компенсации реактивной мощности

Рабочее задание опыта 1:

а) ознакомиться с приборами, используемыми в работе, и записать их данные в отчет по работе;

б) собрать электрическую цепь в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5. Включить в ЭЦ резистор R_1 и последовательно включенные индуктивности L_1, L_2, L_3, L_4 , которые на схеме обозначены через индуктивное сопротивление X_L и активное сопротивление катушки R_k .

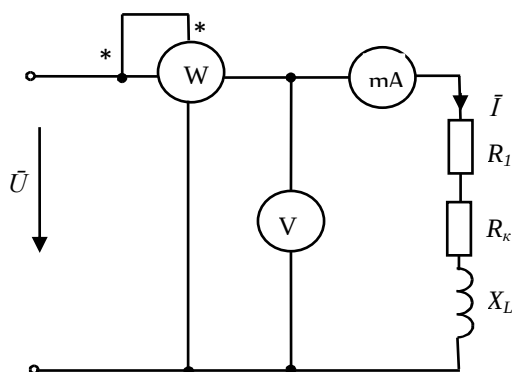


Рисунок 5 – Измерительная схема опыта 1

в) для расширения диапазона миллиамперметра переключиться на диапазон «х3». Установить движок резистора в крайнее левое положение. На генераторе ГЗ-123 установить выходное напряжение 14 В и частоту 500 Гц;

г) после проверки ЭЦ преподавателем включить питание;

д) для фиксированных значений резистора и катушек индуктивностей измерить ток, напряжение и активную мощность;

е) результаты измерений записать в первую строку таблицы 1;

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

Режим ЭС:	Показания приборов			Результаты вычислений					
	P , Вт	U , В	I , мА	Z , Ом	S , ВА	Q , ВАр	ΔQ , ВАр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
до компенсации							—		
после компенсации									

ж) по показаниям миллиамперметра и мультиметра определить полную мощность ЭЦ до компенсации:

$$S = U \cdot I. \quad (5)$$

з) рассчитать значения:

- реактивной мощности до компенсации:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (6)$$

- коэффициентов мощностей:

$$\cos\varphi = P / S; \quad \operatorname{tg}\varphi = Q / P.$$

и) результаты расчетов занести в первую строку таблицу 1.

к) построить треугольники мощностей до компенсации.

2.3.2 ЭЦ с компенсацией реактивной мощности продольным методом

Опыт 2. Работа ЭЦ с компенсацией реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в этом опыте осуществляется применением последовательно включенной конденсаторной батареи.

Рабочее задание опыта 2:

а) собрать ЭЦ, не изменяя положения движка резистора и добавив в схему опыта 1 последовательно включенные конденсаторы C_1 и C_2 , которые на схеме, приведенной на рисунке 6, обозначены емкостным сопротивлением;

б) на генераторе установить выходное напряжение 14 В и частоту 500 Гц;

в) после проверки ЭЦ преподавателем включить питание;

г) изменяя значение емкости конденсаторной батареи путем включения конденсаторов C_3 и C_4 при фиксированных значениях резистора и катушек индуктивностей измерить ток, напряжение и активную мощность в электрической цепи;

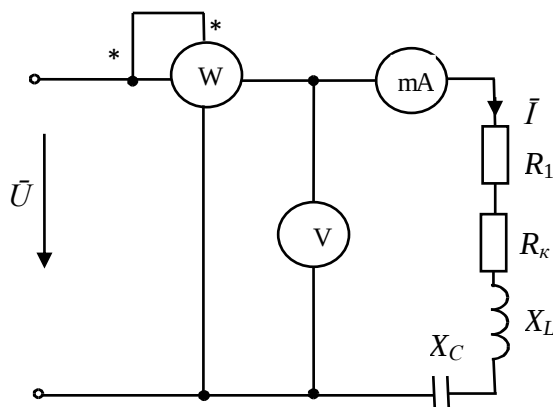


Рисунок 6 – Измерительная схема опыта 2

- д) результаты измерений записать во второй строке таблицы 1;
- е) по показаниям миллиамперметра и мультиметра определить полную и реактивную мощности сети после компенсации по формулам (5) и (6);
- ж) определить значения:

- скомпенсированной мощности:

$$\Delta Q_K = Q_1 - Q_2, \quad (7)$$

где Q_1 – значение реактивной мощности до компенсации;

Q_2 – значение реактивной мощности после компенсации.

- коэффициентов мощностей: $\cos\varphi$, $\tan\varphi$;

- з) результаты расчета записать во второй строке таблицы 1;
- и) построить треугольники мощностей после компенсации.

2.4 Содержание отчета

2.4.1 Цель работы.

2.4.2 Схемы измерений.

2.4.3 Таблицы результатов измерений и вычислений.

2.4.4 Расчетные формулы.

2.4.5 Выводы по работе.

3 Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие виды электроэнергии передаются по электрическим сетям от источников электроэнергии к ЭП?
2. Что называется компенсацией реактивной мощности?
3. Перечислить мероприятия, способствующие снижению потребления реактивной мощности.
4. На что расходуется реактивная мощность в электрических сетях?
5. Как отразится на работе электрической сети замена асинхронных электродвигателей, работающих в недогруженном режиме, двигателями меньшей мощности.
6. Назвать технические средства компенсации реактивной мощности.
7. В чем различие индивидуальной и централизованной компенсации?
8. В чем особенность групповой компенсации?
9. Нарисовать схему замещения ЛЭП при продольной компенсации.
10. Объяснить резонансный режим работы линии электропередачи.
11. При каком способе компенсации реактивной мощности через конденсаторы может проходить ток короткого замыкания, т.е. в электрической сети возможно возникновение аварийного режима?
12. Могут ли внутренние повреждения конденсаторов привести к возникновению в электрической сети аварийных режимов?
13. При каком способе компенсации реактивная мощность конденсатора используется только во время работы ЭП, к выводам которого он подключен?
14. Оказывает ли влияние на потери активной мощности в питающей сети удаленность подключения конденсаторных батарей от ЭП?
15. Как определяется коэффициент реактивной мощности?

Список использованных источников

1 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2015. – 705 с.

2 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2011. - 704 с.

3 Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник / Т. В. Анчарова, М. А. Рашевская, Е. Д. Стебунова. – М. : Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. – 416 с. – Режим доступа : <http://znanium.com/bookread2.php?book=326458>.

4 Метрология и электрические измерения: методические указания к лабораторным работам / А. Т. Раимова, О. Д. Юрк. – Оренбург : ОГУ, 2011. – 77 с.

5 Семенова, Н. Г. Исследование линейных электрических цепей [Электронный ресурс] : учебное пособие к лабораторному практикуму / Н. Г. Семенова, Н. Ю. Ушакова, Л. А. Семенова. – Оренбург : ОГУ. – 2014. – 65 с.

6 Электротехнические устройства. – Режим доступа : <http://www.vsyaelektrotehnika.ru>

7 Электротехнические устройства. – Режим доступа : https://electric-220.ru/news/trekhfaznye_transformatory/2017-01-05-1151